

ANALYSE COMPARATIVE DES FILIÈRES D'OXYDATION DES BOUES DE STATIONS D'ÉPURATION URBAINES

Henning Sasse, Ute Karl, Jean-Philippe Lonjaret, Thierry Zundel, Otto Rentz*
Institut Franco-Allemand de recherche sur l'environnement (Karlsruhe)

Les filières d'oxydation des boues de stations d'épuration municipales sont évaluées en fonction de leurs émissions, leur bilan énergétique et leurs coûts. L'étude considère l'incinération et la gazéification dans des installations spécifiques, l'oxydation par voie humide et le co-traitement dans les centrales thermiques au charbon, les cimenteries et les unités d'incinération ou de gazéification d'ordures ménagères. On montre que la co-incinération dans les centrales thermiques au charbon présente le meilleur bilan énergétique et les coûts les plus bas. Cette filière génère cependant des émissions spécifiques de mercure relativement élevées par rapport à l'incinération ou la gazéification spécifique et à la co-incinération dans les UIOM. La problématique des émissions de mercure se pose encore avec plus d'acuité dans le cas de la co-incinération en cimenterie où les émissions peuvent cependant être réduites par la mise en place de filtres à manche.

In this paper different municipal sewage sludge oxidation technologies (mono-incineration and mono-gasification, co-incineration in hard coal-fired power plants, waste incineration and gasification plants, and cement furnaces, aqueous phase oxidation) are compared taking into account related atmospheric emissions, energy efficiency and costs. A global evaluation based on these criteria reveals that the co-incineration in hard coal fired power plants incorporates the highest energy efficiency and the lowest overall costs. Its main disadvantage in comparison to mono-incineration, mono-gasification, and co-incineration in municipal waste incineration plants refers to elevated mercury emissions related to the sludge input. The problem of elevated mercury emissions is even more serious in the case of co-incineration in cement furnaces. However, the installation of fabric filters downstream cement furnaces may reduce mercury emissions significantly.

INTRODUCTION

En Allemagne, la production de boues de stations d'épuration urbaines s'élève à environ 2,5 millions de tonnes de matière sèche (MS) par an dont 400 000 tonnes MS/an proviennent du Land de Bade-Wurtemberg. En 1995, 35 % (en

masse) des boues générées dans ce Land ont été valorisées dans les filières agricoles locales (épandage ou compostage), 21 % ont été mises en décharge et 12 % ont été incinérées^[1]. La fraction restante (32 %) a été traitée hors du Land (exportation) essentiellement par valorisation agricole dans les « Nouveaux Länder ». Compte tenu des possibilités de plus en plus limitées de valorisation agricole des boues d'épuration et de l'interdiction de leur mise en décharge à partir de l'année 2005, des filières alternatives doivent être développées.

Les travaux que nous présentons dans la suite ont été réalisés dans le cadre d'un projet de recherche qui avait pour objet l'évaluation technico-économique et écologique des filières d'élimination qui pourraient se substituer à la mise en décharge, à l'exportation et à l'épandage agricole. Une attention particulière a été portée à l'étude des possibilités de co-traitement dans des installations existantes du Land de Bade-Wurtemberg telles que les centrales thermiques, les unités d'incinération et de gazéification d'ordures ménagères (OM) et les cimenteries. Les procédés d'oxydation (incinération spécifique, gazéification spécifique, oxydation par voie humide) ont également été considérés ainsi que les pré-traitements de déshydratation et de séchage réalisés en amont.

PROCÉDÉS DE TRAITEMENT THERMIQUE DES BOUES DE STATIONS D'ÉPURATION

Pré-traitement par déshydratation et séchage

La plupart des procédés d'oxydation nécessitent une déshydratation (35 % de matière sèche) ou un séchage (90 % MS) préalable des boues, à l'exception de l'incinération spécifique et de l'oxydation par voie humide (OHV) pour lesquelles un taux de siccité d'environ 25 % et respectivement 15 % MS est acceptable. Pour des raisons inhérentes au procédé de production, la co-incinération en cimenterie requiert un séchage à 90 % MS^[2]. Dans le cas de l'incinération dans un four spécifique, un séchage partiel à 45 % MS permet d'obtenir une boue auto-combustible^[3].

La déshydratation est effectuée par des procédés de centrifugation ou par filtration qui permettent d'obtenir des taux de siccité compris entre 20 et 30 % MS pour des installations courantes et de plus de 40 % pour les unités les plus performantes. Le séchage a une influence importante sur le bilan énergétique et le coût de traitement des boues, comme nous le verrons ci-dessous. Récemment mis sur le marché, les sècheurs solaires qui se distinguent par une consommation d'énergie très faible constituent une alternative pour les stations d'épuration de petite taille^[2].

État de l'art des techniques d'oxydation thermique

L'incinération spécifique dans un four à lit fluidisé constitue la méthode d'oxydation thermique la plus utilisée. Pour des raisons économiques, elle est surtout mise en œuvre dans les stations d'épuration de capacité supérieure à 300 000 eq. hab.^[4,5]. Pour les capacités comprises entre 50 000 et 200 000 eq. hab., une technologie mettant en œuvre un four à cyclone a été mise au point. Une première installation de ce type a récemment été mise en service dans la commune de Obrigheim dans le Bade-Wurtemberg (capacité de 1 800 t MS/a)^[6]. Elle est constituée d'un incinérateur, d'un échangeur de chaleur, d'un sécheur alimenté par l'énergie récupérée ainsi que d'une unité de traitement des fumées. La température de combustion atteint 1 500°C et permet ainsi une vitrification des cendres. La gazéification des boues dans des unités spécifiques est également en cours d'expérimentation. Une première installation d'une capacité de traitement de 1 000 tonnes MS/an est en cours de construction dans la commune de Balingen (Bade-Wurtemberg)^[7]. La co-incinération en centrale thermique au charbon a fait l'objet de nombreux essais et constitue une filière particulièrement intéressante d'un point de vue économique. Cette filière est couramment exploitée sur un certain nombre de sites en Allemagne, en particulier dans une centrale thermique du Land de Bade-Wurtemberg^[8]. La co-incinération en cimenterie permet une valorisation énergétique des boues ainsi qu'une valorisation matière des cendres qui sont intégrées au clinker. Elle n'a cependant pas encore été mise en œuvre à l'échelle industrielle en Allemagne ; des essais sont en cours dans la cimenterie de Geisingen (Bade-Wurtemberg). Le traitement des boues dans des unités d'incinération des ordures ménagères (UIOM) équipées de systèmes performants d'épuration des fumées (par ex. lavage en deux étapes et adsorption sur charbon actif) se distingue par des émissions atmosphériques très faibles, mais cette filière est peu utilisée en Allemagne en raison des coûts relativement élevés. La co-gazéification des boues avec les ordures ménagères (OM) constitue une alternative en cours de développement. Un certain nombre d'expériences ont récemment été effectuées dans des installations pilotes mettant en œuvre un gazéificateur à flux entraîné^[9] ou à fusion cyclonique^[10]. L'oxydation par voie humide (OVH) consiste à oxyder à haute pression et à haute température les boues sous forme de solution ou de dispersion. Du fait de la quasi-absence de

flux gazeux, elle présente l'avantage d'émissions atmosphériques très faibles, mais nécessite un traitement intensif des eaux usées en aval de l'installation^[3]. Dans le procédé VerTech l'oxydation est effectuée dans un réacteur-colonne enterré dont la hauteur importante (de l'ordre de 1 200 m) permet d'obtenir des pressions élevées^[11].

COMPARAISON DES DIFFÉRENTS PROCÉDÉS D'OXYDATION THERMIQUE DES BOUES

Les principales caractéristiques des procédés de pré-traitement et d'oxydation thermique considérés dans cette étude sont consignées dans le tableau 1. Ces procédés ont été évalués et comparés suivant des critères écologiques (émissions atmosphériques, bilan énergétique) et économiques (coûts de traitement). Les résultats ont été établis à partir de bilans énergie-matière effectués pour chacune des filières d'élimination en considérant les opérations de déshydratation/séchage, de transport et d'oxydation, pour des boues présentant les caractéristiques suivantes à la sortie de la station d'épuration : suspension 4 % MS avec une concentration en matière organique de 50 % et une valeur calorifique nette de la matière organique de 23 000 kJ/kg. On a supposé que les boues étaient pré-traitées (déshydratation/séchage) sur le site de la station d'épuration au moyen de technologies conventionnelles (centrifugation, filtration, sécheur direct ou indirect) puis transportées vers l'unité de traitement située à une distance moyenne de 100 km. Les bilans ont été effectués à l'aide de données fournies par des exploitants d'installations et d'une compilation des données publiées^[2].

Les émissions atmosphériques dépendent essentiellement des performances des unités de traitement des fumées. Elles sont très faibles pour l'oxydation par voie humide, les unités d'incinération spécifiques, les installations de gazéification et les UIOM auxquelles la réglementation impose des valeurs limites d'émission très strictes. A titre d'exemple les UIOM doivent respecter une valeur limite de 0,1 ng équivalents toxiques/m³ pour dioxines et furannes et de 0,03 mg/m³ pour le mercure. Dans le cas de la co-incinération dans les centrales thermiques, la substitution partielle de charbon se traduit essentiellement par une augmentation des émissions de mercure. Ceci s'explique par la teneur en mercure relativement élevée des boues^[13] et par le fait que l'efficacité des unités de traitement des gaz dont sont équipées ces centrales (voir tableau 1) soit relativement faible pour cet élément très volatil. La fraction de mercure des boues émise par les gaz résiduels est représentée dans le tableau 2 pour les différents procédés. On constate que la co-incinération dans les cimenteries et dans les centrales thermiques peut engendrer des émissions de mercure assez importantes. La siccité des boues n'a pas d'influence significative sur les émissions de mercure.

La consommation d'énergie cumulée (CEC) définie par la norme allemande VDI 4600 constitue un bon indicateur de

Tableau 1 : Caractéristiques des procédés de traitement des boues évalués dans cette étude

Pré-traitement	Procédé oxydation thermique	Caractéristiques
Déshydratation partielle (25 % MS)	Incinération spécifique (séchage partiel inclus)	Four à lit fluidisé, dépoussiérage par électrofiltre, lavage des fumées et épuration fine
Déshydratation (35 % MS) Déshydratation (35 % MS) + séchage (90 % MS)	Centrale thermique au charbon (co-incinération)	Chaudière à cendres sèches ou à cendres fondues, dépoussiérage par électrofiltre, désulfuration par lavage à la chaux, dénitrification
Déshydratation (35 % MS) + séchage (90 % MS)	Cimenterie (co-incinération)	Four rotatif, préchauffeur cyclonique, dépoussiérage par électrofiltre
Déshydratation (35 % MS) Déshydratation (35 % MS) + séchage (90 % MS)	Incinérateur d'ordures ménagères (co-incinération)	Incinération sur grille, dépoussiérage par électrofiltre, lavage des fumées et épuration fine (par ex. par charbon actif)
Déshydratation (35 % MS)	Gazéification d'ordures ménagères (co-gazéification)	Procédé « Thermosteect » ⁽¹²⁾
Déshydratation partielle (25 % MS)	Oxydation par voie humide	Procédé « VerTech » ⁽¹¹⁾

Tableau 2 : Pourcentage du mercure total contenu dans les boues retrouvé à l'immission

	[%] de la masse totale de mercure dans les boues
Incinération spécifique	4 - 9
Centrale thermique au charbon (co-incinération)	20 (chaudière à cendres sèches) – 55 (chaudière à cendres fondues)
Cimenterie	30 - 80
Incinérateur d'ordures ménagères (co-incinération)	1 - 10
Gazéification d'ordures ménagères (co-gazéification)	< 1 - 2
Oxydation par voie humide (OVH)	<< 1

* La répartition du mercure entre les résidus solides et les gaz résiduaires dépend fortement de la température des gaz résiduaires dans l'électrofiltre et du degré de recirculation des gaz et des poussières.

synthèse pour l'évaluation des bilans énergétiques. Elle représente la consommation totale d'énergie primaire des étapes d'élimination considérées dans cette étude (déshydratation/séchage, transport, oxydation). Les valeurs de la CEC des différentes filières d'oxydation thermique sont représentées dans la figure 1. On constate que l'excédent d'énergie le plus important est obtenu pour la co-incinération de boues dans des centrales thermiques au charbon (1 800 kJ/kg MS pour des boues déshydratées, 1 000 kJ/kg MS pour des boues séchées). Dans le cas de la co-incinération dans les centrales au charbon et dans les UIOM, le séchage a une influence négative sur le bilan énergétique global et ne se justifie pas d'un point de vue énergétique ; la contribution du transport est relativement faible. Le bilan énergétique est neutre pour la co-incinération de boues

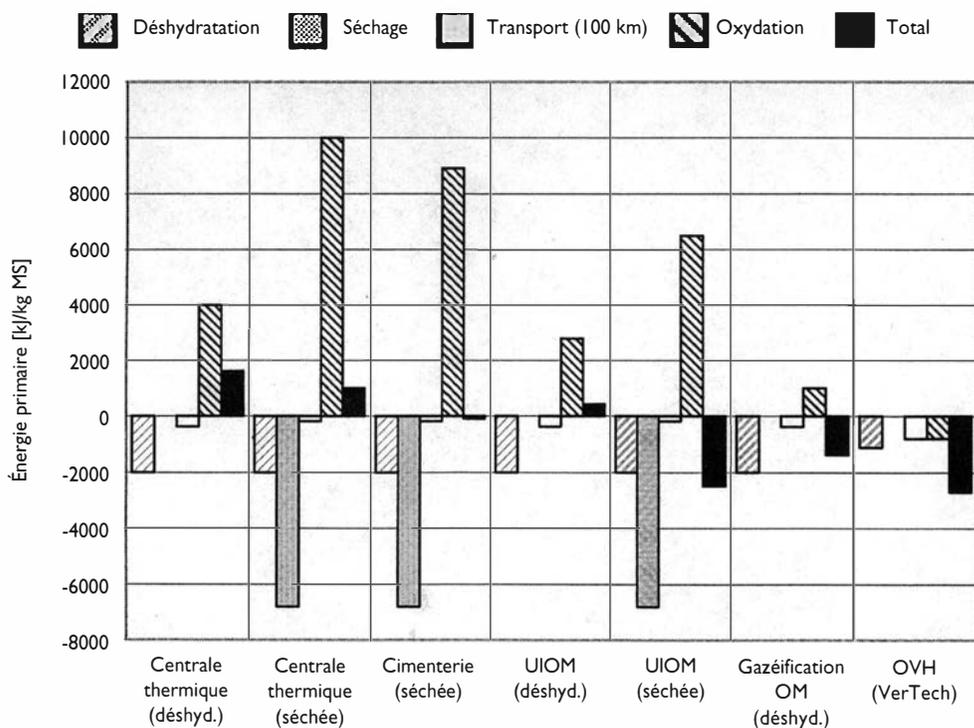


Figure 1 : Consommation d'énergie primaire des différentes étapes d'élimination des boues

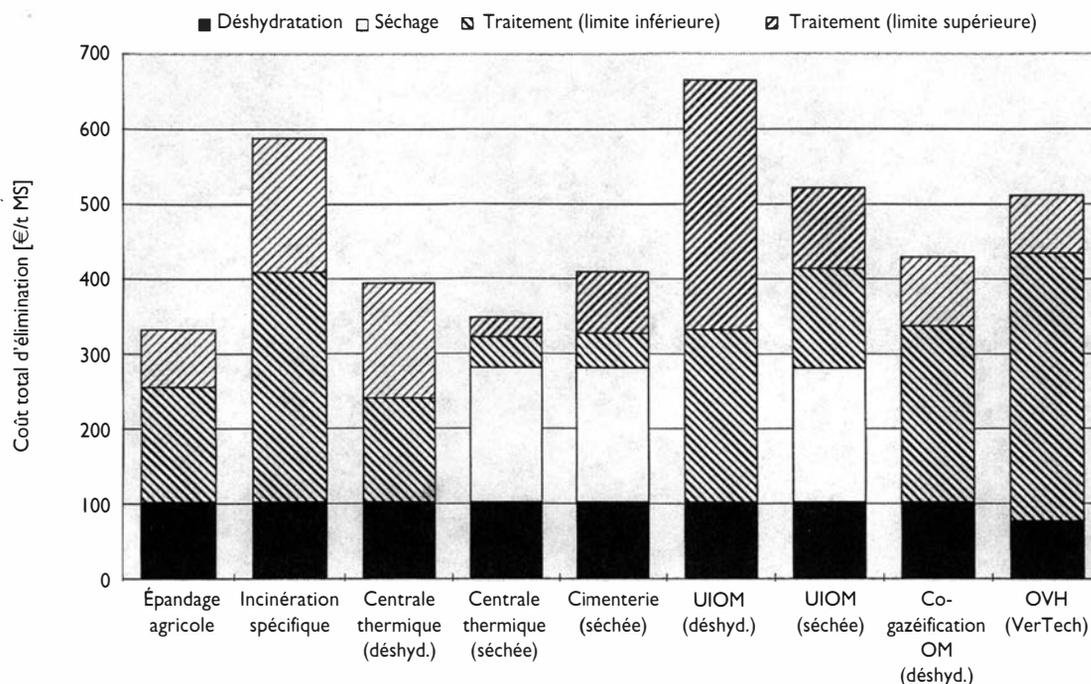


Figure 2 : Coûts d'élimination des boues pour les différentes filières (capacité de traitement de l'ordre de 200 000 eq. hab)

dans des cimenteries et négatif pour la gazéification et l'oxydation par voie humide.

Les coûts de la déshydratation et du séchage ont été calculés en prenant en compte les investissements (amortissement, frais financiers) et les coûts d'exploitation des installations. L'application d'une telle approche aux procédés impliquant un co-traitement des boues (co-incinération en cimenterie ou en centrale thermique) n'est pas pertinente dans le contexte de cette étude, notamment en raison de la difficulté de distinguer les coûts de traitement des boues des coûts de production^[2]. Pour cette raison, le coût des traitements d'oxydation a été assimilé au prix du traitement (redevance à l'entrée des installations), déterminé pour l'année 1997 au moyen d'enquêtes auprès des exploitants d'installations en Allemagne. Les résultats présentés en figure 2 concernent une unité de capacité de traitement de l'ordre 200 000 eq. hab. A titre de comparaison, les coûts de valorisation par épandage agricole sont également indiqués. En raison des différences importantes entre les prix pratiqués par les différentes installations, les « coûts » de traitement ont été représentés par des valeurs minimales et maximales. Les prix très bas pratiqués par certaines UIOM s'expliquent par l'excédent actuel des capacités disponibles. Les coûts spécifiques de transport dépendent fortement de la distance et des quantités transportées. La contribution du transport au coût total d'élimination est faible (environ 10 €/t MS pour une boue 90 % MS et une distance de 100 km) ; elle n'a pas été prise en compte dans le calcul des coûts représentés dans la figure 2.

Dans les conditions actuelles du Land, la co-incinération de boues dans les centrales thermiques est la filière d'oxydation présentant les coûts les plus bas (240 - 390 €/t MS) ; ces coûts sont comparables à ceux de la valorisation agricole (255 - 330 €/t MS). Dans le cas de la co-incinération dans les centrales thermiques ou dans des UIOM, le coût minimal d'élimination des boues déshydratées est inférieur à celui des boues séchées.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Une évaluation globale sur la base de l'ensemble des critères que nous avons pris en compte montre que la co-incinération dans les centrales thermiques au charbon présente le meilleur bilan énergétique et les coûts les plus bas. Son principal inconvénient par rapport à l'incinération spécifique et à la co-incinération dans les UIOM est lié à des émissions de mercure élevées. La problématique des émissions de mercure se pose encore avec plus d'acuité dans le cas de la co-incinération en cimenterie où les émissions peuvent cependant être réduites par la mise place d'un filtre à manche, à l'instar d'une cimenterie du Bade-Wurtemberg dans laquelle sont réalisés des essais de co-incinération de boues à l'échelle industrielle. Par ailleurs, une diminution des émissions de mercure pourrait également être obtenue par une réduction à la source de la teneur en mercure des boues. Le séchage des boues par des technologies conventionnelles (à l'exception des sècheurs solaires) en amont de la co-incinération dans des centrales thermiques ou dans des UIOM a une influence négative sur le bilan énergétique global et

engendre (dans la plupart des cas) une augmentation des coûts d'élimination. Il ne se justifie que dans les cas où les boues doivent être stockées ou transportées sur une longue distance.

L'évaluation des procédés a été complétée par une analyse des capacités de co-traitement et de l'évolution du gisement des boues d'épuration dans le Land de Bade-Wurtemberg. Cette analyse montre que l'utilisation des capacités de co-incinération dans les centrales thermiques au charbon, dans les cimenteries et les UIOM permettait de compenser la suppression de la mise en décharge des boues à partir de l'an 2005, mais qu'une suppression de la valorisation agricole nécessiterait la mise en place d'unités de traitement supplémentaires (traitement spécifique des boues ou d'oxydation par voie humide). Ces travaux ont été complétés par le développement d'un modèle régional de gestion des flux de boues permettant de générer et d'optimiser la structure des filières de recyclage et d'effectuer une affectation quantitative des boues produites par les différentes stations d'épuration aux capacités des installations de séchage et de traitement^[4].

* **H. Sasse, U. Karl, J.-Ph. Lonjaret, Thierry Zundel, O. Rentz**

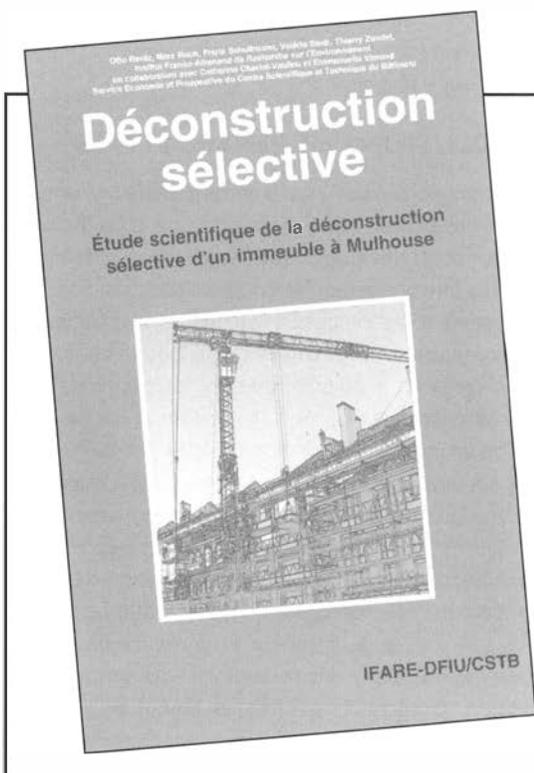
Institut Franco-Allemand de recherche sur l'environnement (Ifare), antenne de Karlsruhe - Université de Karlsruhe - Hertzstrasse 16 - 76187 Karlsruhe (Allemagne)

Remerciements :

Ces travaux ont été réalisés dans le cadre d'un projet de recherche financé par le ministère de l'Environnement et des Transports du Land de Bade-Wurtemberg.

Bibliographie

- [1] Statistisches Landesamt Baden-Wuerttemberg (Ed.) : Beseitigung und Verwertung von Klaerschlam, Statistische Berichte Baden-Wuerttemberg, 1995.
- [2] Rentz, O., Sasse, H., Karl, U., Lonjaret, J.-P. : Klaerschlammsorgung in Baden-Wuerttemberg, Projet de recherche financé par « Ministerium fuer Umwelt und Verkehr Baden-Wuerttemberg », Rapport final, Karlsruhe, Décembre 1997.
- [3] Infinities Communication : *Traiter et valoriser les boues*, Collection OTV, 1997.
- [4] Wiebusch, B., Seyfried, C. F., Johnke, B., Credo, S. : Stand der Mono-Klaerschlammbrennung in Deutschland, *Korrespondenz Abwasser*, 44 (1997) 3, pp. 473 – 492.
- [5] Bessix, A. : *Incineration et co-incineration des boues*, *Environnement & Technique*, (1998) 182, pp. 37 – 42.
- [6] Widmann, F., Ganssloser, F. : Wirtschaftlicher Einsatz von thermischen Klaerschlammbrennungsanlagen in Klaeranlagen ab einer Trockensubstanzmenge von 1500 t/Jahr, *Korrespondenz Abwasser*, 44 (1997) 10, pp. 1843 – 1849.
- [7] Zweckverband Abwasserreinigung Balingen (Ed.) : *Vorstudie zum Einsatz einer Klaerschlammbrennungsanlage auf der Klaeranlage Balingen*, Décembre 1997.
- [8] Umweltbundesamt FG III 4.3 (Ed.) : *Technische Daten der Kohlekraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland*, die Klaerschlammbrennung (Stand 1997), Communication, 1997.
- [9] Schingnitz, M. ; Fritz, P. : *Integration von Abfall- und Energiewirtschaft durch Anwendung des NOELL-Konversionsverfahrens*, *Chemie Ingenieur Technik*, 68 (1996) 9, p. 1070.
- [10] PKA Umwelttechnik GmbH (Ed.) : *Verfahrenskombination Pyrolyse und Schmelzzyklon – Beschreibung des Gesamtverfahrens*, Mai 1997.
- [11] Meijerink, J. : *Three Years Operating Experience with VerTech's® Aqueous Phase Oxidation*. – *Boues : Analyses et retours d'expériences sur filières opérationnelles*, Séminaire organisé par Euroforum, Décembre 1997.
- [12] Lützke, K., Wehde, K.-H. : *Meß- und Untersuchungsprogramm an der THERMOSELECT-Anlage in Fondotoce – wesentliche Ergebnisse*, Haessler, G. (Ed.) : *THERMOSELECT – Der neue Weg, Restmuell umweltgerecht zu behandeln*, Verlag Karl Goerner, Karlsruhe 1995.
- [13] Juste, Ch. ; Chassin, P. ; Gomez, A. ; Linères, M. ; Mocquot, B. : *Les micro-polluants métalliques dans les boues résiduelles des stations d'épuration urbaine*, Rapport Ademe/I.N.R.A. 1995.
- [14] Rentz, O., Sasse, H., Karl, U. : *Analyse der künftigen Entsorgung kommunaler Klärschlämme in Baden-Württemberg durch Mitverbrennung*, *Projet de recherche dans le cadre de la programme « PWAB » du Land de Bade-Wurtemberg*, Rapport final, Karlsruhe, Mai 1999.



Format 15*24cm, 104 pages - Prix : 132 F TTC (125,12 F HT, TVA 5,5 % : 6,88 F), franco de port.

Société Alpine de Publications

7, chemin de Gordes - 38100 Grenoble
Tél. : 04 76 43 28 64 - Fax : 04 76 56 94 09
Email : E.et.T@wanadoo.fr